



接触面積拘束工具の切削性に関する研究： 各種拘束工具の塑性域と切削抵抗および切屑形態

その他（別言語等）のタイトル	A Study of Tools with Restricted Tool-chip Contact Length : Variation of Plastic Field, Cutting Forces and Chip-form with Restricted Tool-chip Contact Length
著者	菊地 千之
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	4
号	2
ページ	409-427
発行年	1963-06-30
URL	http://hdl.handle.net/10258/3187

接触面積拘束工具の切削性に関する研究

——名種拘束工具の塑性域と切削抵抗および切屑形態*——

菊 地 千 之

A Study of Tools with Restricted Tool-chip Contact Length Variation of Plastic Field, Cutting Forces and Chip-form with Restricted Tool-chip Contact Length.

Kazuyuki Kikuchi

Abstract

The Tool with artificially restricted tool-chip contact length shows a strong tendency to produce a complicated plastic flow ahead of the rake face, as far as the restricted length is shorter than the natural tool-chip contact length. By applying the theory of plasticity, the plastic field is found to be composed of one centered fan and two straight slip line fields.

Based upon the characteristics of the plastic field, cutting forces are measured by the tool with various restricted tool-chip contact length, which make a good comparison with the various rake angle for a conventional tool. Furthermore, this paper treats of chip-form and cutting forces for the tool with restricted tool-chip contact length composed of two rake faces.

The experimental results seem to support the theory and shows good cutting characteristics in comparison with conventional tools.

I 緒 言

切削工具すくい面と切屑の接触長さを強制的に縮小させた工具では、すくい面前方に複雑な塑性変形領域が存在する。またすくい面上の応力は増大するが、切削の摩擦係数は減少し、切屑厚さは薄くなることが知られている。^{1,2,3} このような工具によって、すくい面前方に生ずる塑性変形領域は、二つの直線切り線場と一つの扇形切り線場よりなることおよびすくい面摩擦特性については既に報告した。⁴

この報告では既報の接触面積拘束の原理を用いた各種形式の工具について、塑性域の切り線速度の場が実際の塑性変形と同一の変形を与えるかどうか、切削抵抗の測定により通常工具の切削抵抗との比較検討を行ない、同時に切屑形態、構成刃先を観察して切削抵抗の切削速度特性についても検討した。又接触面積拘束工具の新しい形式のものとして、二つの拘束された、

*特殊塑性域を含む切削機構の研究（第二報） 昭和37年4月8日 精機学会春季大会学術講演会発表

すくい面を同時に持つ工具が考えられるが、この工具によって切削される際に生ずる塑性変形領域と切屑形態および切削抵抗特性についても検討を行った。

II 接触面積拘束工具における切屑塑性域

拘束工具による切屑変形は通常工具による切削において生ずる単純塑性変形と著しく異なることお見出し、この切屑塑性域に対応する切り線場として、図-1に示すような模型を提出した。これにより塑性域内の切屑変形、拘束長さの縮少による扇形切り線場（第Ⅱ領域）と直線切り線場（第Ⅰ領域）の変化、摩擦係数の変化については既に報告した。場の幾何学的関係およびすくい面摩擦特性を次の(1)，(2)，式で示した。但し(2)式における η_0 は無拘束の通常工具に対して定まる定数である。

$$d/\ell = \cos \eta \{ \sin(\theta + \eta + \alpha) - \cos(\theta + \eta + \alpha) \} + \cos \alpha \quad (1)$$

$$\theta = \frac{1 + \sin 2\eta_0}{2 \log(1 - \cos 2\eta_0)} \log \frac{(1 - \cos 2\eta) - \frac{1}{2}(1 + \sin 2\eta)}{(1 - \cos 2\eta_0) - \frac{1}{2}(1 + \sin 2\eta_0)} \quad (2)$$

(1)，(2)式から θ ， η はそれぞれ

$$\begin{aligned} \theta &= f(d/\ell, \eta_0, \alpha) \\ \eta &= g(d/\ell, \eta_0, \alpha) \end{aligned} \quad (3)$$

の如く d/ℓ の関数として求められる。 $\eta_0 = 8.4$ 度として θ ， η の d/ℓ による変化を求めたものを図-2に示した。ここで切込 d ＝一定、拘束長さ ℓ を縮少するならば d/ℓ は大きくなる。このことから θ が大となり η が僅かに小となる。すなわち拘束長さの縮少による塑性域構造の変化は、 θ が著しく大きくなり η が僅かに変化する関係であることが分かる。

1 実験方法

拘束工具における拘束長さの縮少により、切屑塑性域が変化するのであるから、これを直接観察して理論的に求めた切屑塑性域変化との対応性を検討するために次の実験を行った。図-3

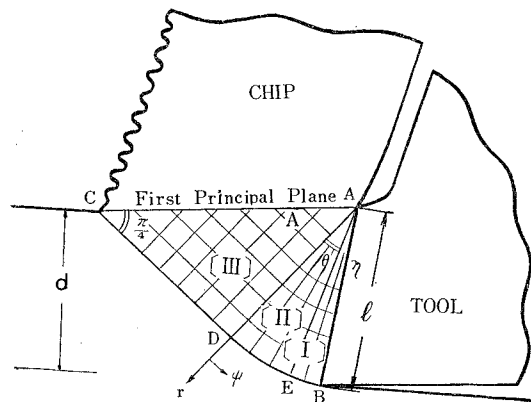


Fig. 1 Slip-line field in machining with restricted contact tool.

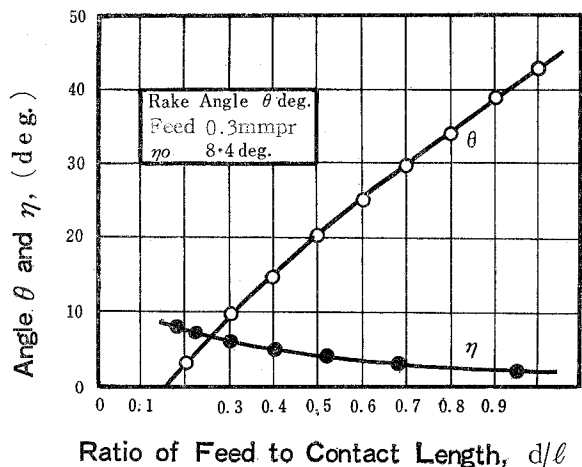


Fig. 2 Theoretical variation of angle θ and η with ratio of feed to contact length d/ℓ

に示すように旋盤によって、0.25%C 炭素鋼のパイプを Stopping Tool を用いて二次元乾切削を行い、各条件における Partially formed Chip を作り顕微鏡写真をとり検討した。

切削条件：被削材；炭素鋼（0.25%C）；工具，超硬ST-2〔0,0,5,0,0,0〕；送り，0.3mmpr；切込み，3.5mm；切削速度，90，

60，30mpm；切削剤，乾燥，拘束長さ，0.35，0.5，0.8mmおよび自然接触長さ。

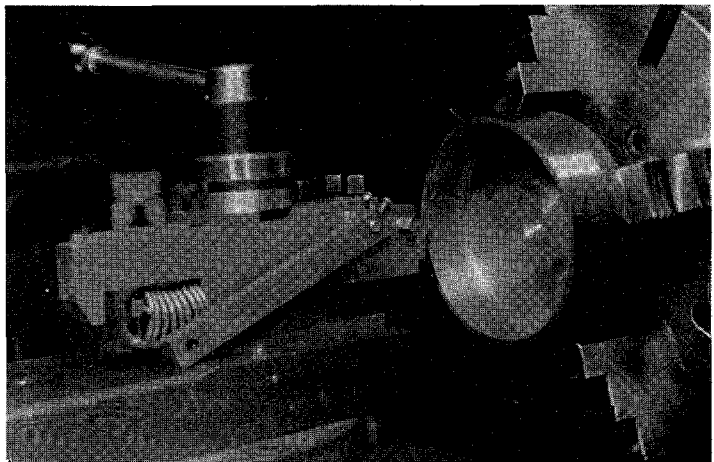


Fig. 3 Set-up of stopping tool Machining.

2 実験結果および考察

図-4は各切削速度に対する接触面積拘束長さ変化に伴う塑性域の変化を示した。図-5にすくい角0度の場合について、(1)，(2)式を用いて理論的に計算して得られた Patternを示した。

これによると接触面積拘束長さを順次縮小してゆくにしたがって，切屑厚さは薄くなり，接触面積拘束長さの縮小により扇形域が拡大して第1領域の η が縮小してゆくことが見られる。これらの点から定性的な傾向としては理論計算の結果と良く一致している。然し塑性域構造の諸関係を良くみると理論と多くの点で不一致を示している。切削速度90mpmでは η 領域が殆んど見られない。 η 領域が拡がらず扇形領域はすくい面に沿った巾の狭いものとなって，最後に Secondary flow として退化してしまうことが観察される。切削速度の高い場合，特にこの傾向である。 η 領域が見られないと言うことは，すくい面での摩擦が鋼の剪断強度に等しいということを意味するから鋼の切削における，すくい面摩擦状態は著しく Severe なものと言える。そして常に $\eta = 0$ ならば扇形領域は最後にすくい面において消えるから，この図の如く拘束工具に特有な塑性流れが拘束長さの増大とともに次第にすくい面に接する巾の狭いものとなって，最後に Secondary flow として消失することになるのであろう。また $\eta = 0$ の場合にはすくい角0度であるから Lee-Shaffer⁵⁾の理論によると拘束長さが自然接触長さになり，その場合の剪断角は0度となる。然し図に見られる如く0度にはなっていない。このことからすくい面における温度分布の影響が大きな意味を持つものであると考えられる。

切削速度53mpmの場合は，切削速度90mpmの場合と同じような傾向を示してはいるが，

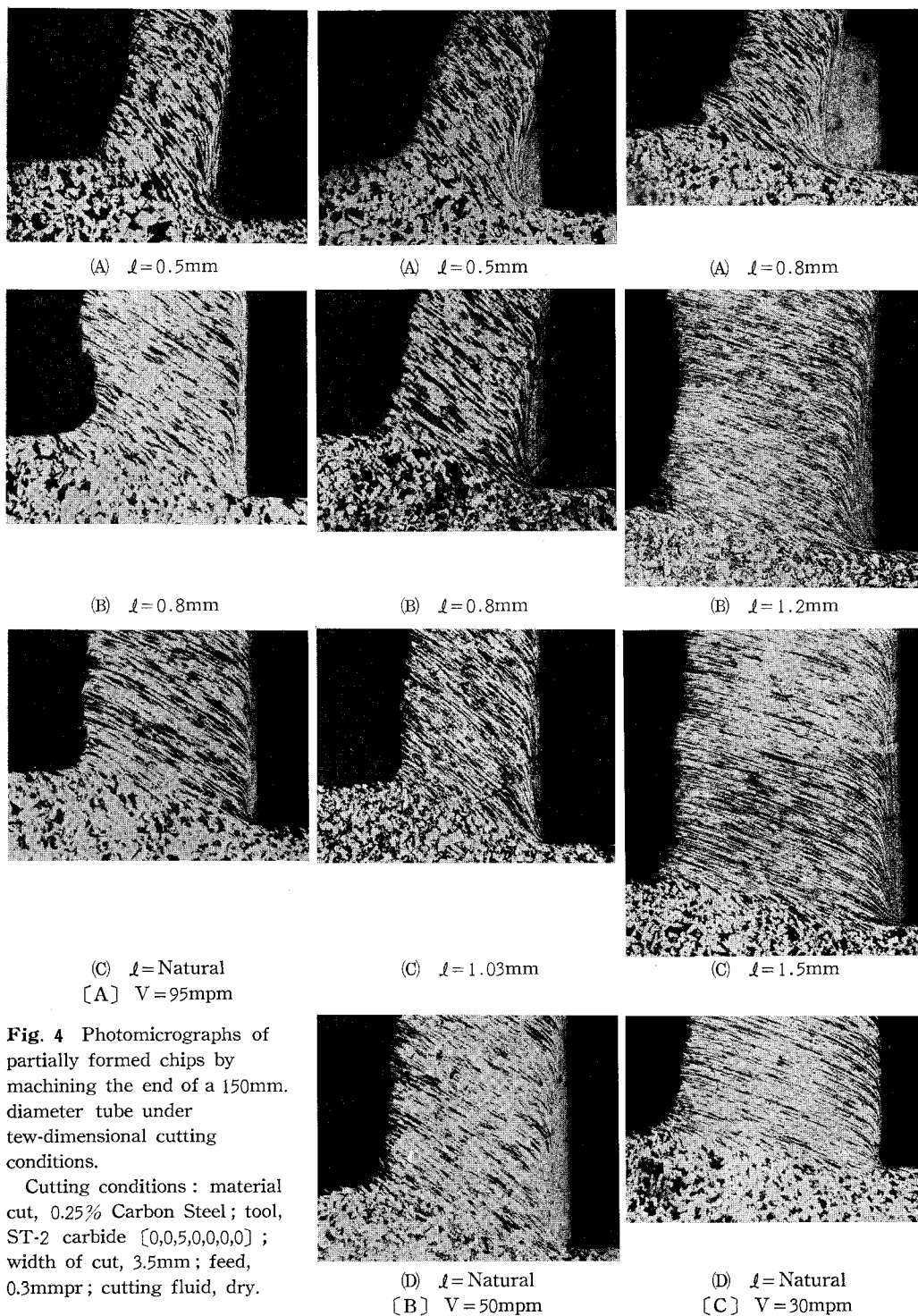


Fig. 4 Photomicrographs of partially formed chips by machining the end of a 150mm. diameter tube under tew-dimensional cutting conditions.

Cutting conditions : material cut, 0.25% Carbon Steel; tool, ST-2 carbide [0,0,5,0,0,0,0] ; width of cut, 3.5mm; feed, 0.3mmpr; cutting fluid, dry.

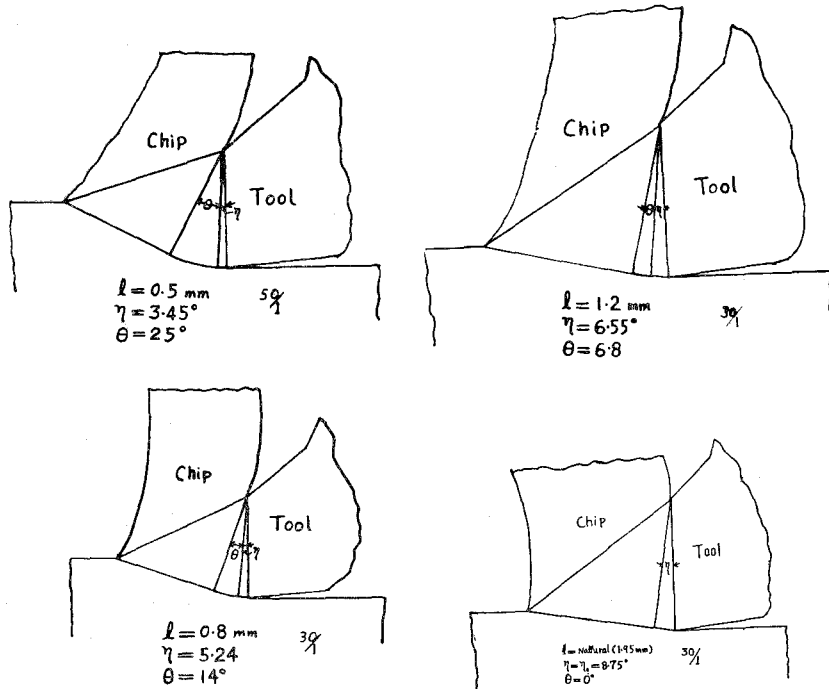


Fig. 5 Schematic diagram showing variation of plastic field with restricted tool-chip contact length.

多くの点で理論とは一致しておらない。

切削速度 30mpm の場合には拘束長さが、自然接触長さであっても剪断角は 0 度とはならないが、非常に小さくなっている。そして第 1 領域 (η 領域) は存在せず、扇形域はすくい面で消失しているのが見られる。また拘束長さが縮少されている場合には、塑性流れは固定した構成刃先として存在しているのが見られる。

以上のように低速の場合には比較的良好一致を示しているが、切削速度が高い場合にはすくい面温度分布の影響を受けて、別な塑性域が生じているのではないかと考えられる。

III 接触面積拘束工具の切削抵抗

図-6 に接触面積拘束長さ l 、すくい角 α 度なる拘束工具で、二次元切削を行なった場合の力の平衡図を示した。また図-7 はこの場合に生ずる塑性域内の応力状態をモール円上の点として示した。

図-6 においてすくい面上に作用する切削抵抗の合力を R とすると剪断面側にはこれと方向反対で大きさ等しい切削抵抗の合力が存在しなければならない。今第 1 領域 BC 面に作用する

切削抵抗の合力を R_1 、第2領域CD面に作用する切削抵抗の合力を R_2 、第3領域DE面に作用する切削抵抗の合力を R_3 とすると次式が成立しなければならない。 $R = R_1 + R_2 + R_3$

切削抵抗 R の垂直成分を R_v 、水平方向成分を R_H とすると R 、 R_H 、 R_v は図-7のモーメントより次式で与えられる。

$$R = \tau_o \cdot \ell \cdot b \sqrt{\cos^2 2\eta + (1 + 2\theta + \sin 2\eta)^2} \quad (4)$$

$$R_v = \ell \cdot \tau_t \cos \alpha - \ell \sigma_t \sin \alpha = \ell \cdot \tau_o [\cos(2\eta + \alpha) - (1 + 2\theta) \sin \alpha] \quad (5)$$

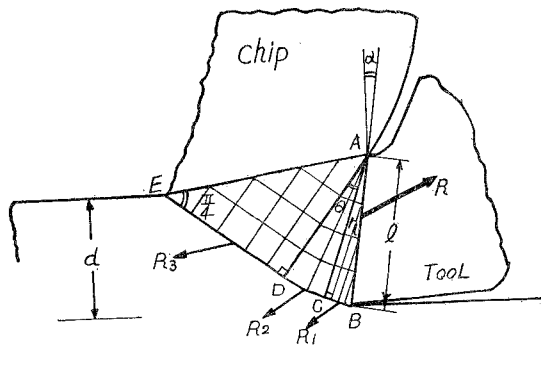


Fig. 6 Force diagram in machining with restricted contact tool

$$R_H = \ell \cdot \tau_t \sin \alpha + \ell \sigma_t \cos \alpha = \ell \cdot \tau_o [\sin(2\eta + \alpha) + (1 + 2\theta) \cos \alpha] \quad (6)$$

一方せん断面側における切削抵抗の合力の各成分は ψ を図-1に示す如く定義すれば図-6, 図-7により次の如くなる。垂直成分の計算のみを示す。

$$(R_1)_v = \ell \cdot \tau_o \sin \eta [(1 + 2\theta) \cos(\eta + \alpha) - \sin(\eta + \alpha)] \quad (7)$$

$$(R_2)_v = \ell \cdot \cos \eta \left[\int_0^\theta \tau_o (1 + 2\psi) \cdot \cos(\eta + \theta + \alpha - \psi) d\psi - \int_0^\theta \tau_o \sin(\eta + \theta + \alpha - \psi) d\psi \right] \\ = \ell \cdot \tau_o \cos \eta [\sin(\eta + \theta + \alpha) - \cos(\eta + \theta + \alpha) - (1 + 2\theta) \sin(\eta + \alpha) + \cos(\eta + \alpha)] \quad (8)$$

$$(R_3)_v = \ell \cdot \tau_o \cos \eta [\cos(\eta + \theta + \alpha) - \sin(\eta + \theta + \alpha)] \quad (9)$$

故にせん断面側に作用する切削抵抗の垂直方向分力 R'_v は

$$R'_v = (R_1)_v + (R_2)_v + (R_3)_v = \ell \cdot \tau_o [\cos(\alpha + 2\eta) - (1 + 2\theta) \sin \alpha] \quad (10)$$

それ故 $R_v = R'_v$ が成立する。同様にして $R_H = R'_H$ となる。このことから上記の平衡関係を満足することは容易に説明することが出来る。

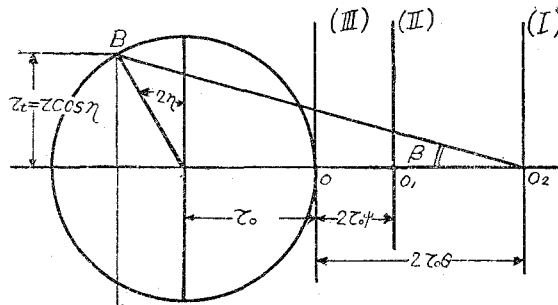


Fig.7 Mohr's stress circle for slip-line field in Fig.6

拘束工具の切削抵抗の水平方向，垂直方向の力は(4)，(5)式で示されることになる。

IV 接触面積拘束工具（C-工具）と通常工具の切削抵抗

1. 実験結果および考察

接触面積拘束工具と通常工具との切削抵抗を比較するために，低炭素鋼（0.14% C）をすくい角 -15° ， 0° ， 10° の超硬工具 ST-2 を使用して，乾燥二次元長手旋削を行ない，工具一切屑接触面積を順次拘束した時の切削抵抗主分力（ F_P ），送り分力（ F_Q ）を測定した。この実験に使用した工具切刃の形状を図-8に示した。

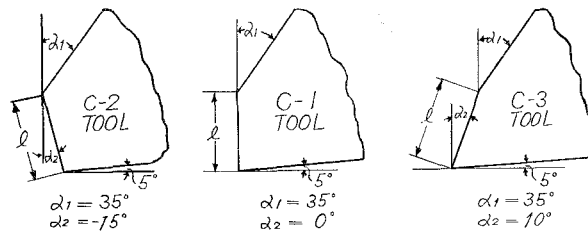


Fig.8 Profiles of restricted contact tool in plane, perpendicular to cutting edge.

図-9は接触面積拘束縮小に対する切削抵抗の変化を各すくい角を有する工具に対して示したものである。

同図から知れるように切削抵抗は拘束長さの増大に伴って，かなり直線的に増大して行くが拘束長さが通常工具の工具一切屑接触長さに到達するとそれ以上では増加しない。このことは接触長さ拘束の有効性が失われるためである。同図において曲線の右端における直線より上の点は通常工具で切削した時の切削抵抗である。このことから明らかなように通常工具に比

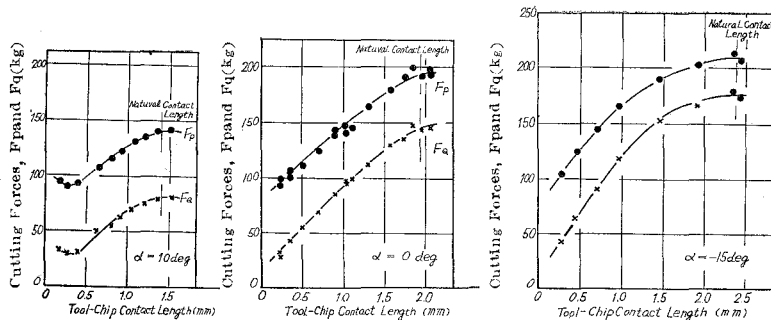


Fig.9 Variation of cutting forces with tool-chip contact length.

Cutting conditions: material cut, 0.14% carbon steel: tool, ST-2 carbide [O.Var., 5.5.10.0.0.3]: depth of cut, 2mm: feed, 0.3mmpr: cutting speed, 90mpm: cutting fluid, dry.

して、接触面積拘束工具の切削抵抗は拘束が充分小さく有効である場合には非常に小さくなる。特にすくい角が高い程この傾向になる。ただすくい角10度の場合に拘束長さが、送り量に近くなると切削抵抗増加の傾向を示すがこれは切屑が工具の第2すくい面と接触し始めるためである。

図-10 は各すくい角に対して、接触面積拘束長さをパラメーターとして切削抵抗 (F_p), (F_q) の変化を示したものである。図中N点はそのすくい角に対する通常工具の切削抵抗を示すものである。この図からわかるように通常高すくい角工具の切削抵抗値と同じ切削抵抗を示す

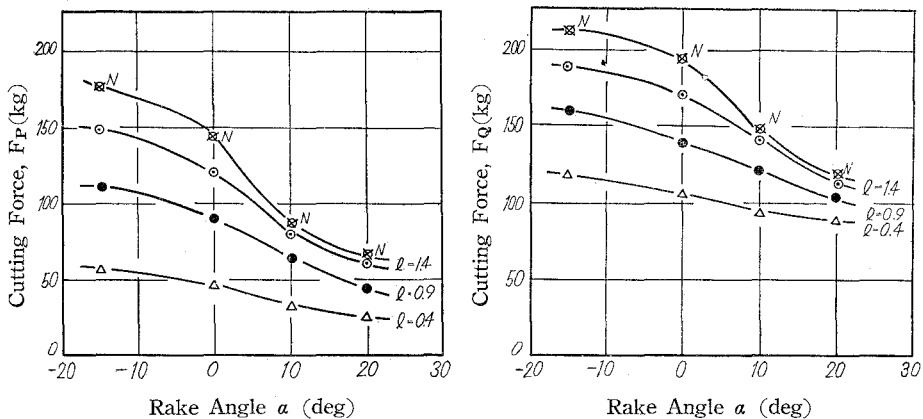


Fig.10 Variation of cutting forces with rake angle. Cutting conditions are the same as in Fig. 9.

拘束工具を求めることが出来る。すなわち僅かの拘束により小さなすくい角とすることが出来る。これにより切削性を悪くすることなく通常高すくい角工具の替りにすくい角の小さな拘束工具を使用しても同じ切削抵抗が得られるということになる。しかも Chipping のような欠陥

を生ずることが少なくなるという利点もある。また工具寿命の点からも通常高すくい角工具に比較して有利であることが予想される。

2 切屑形態

図-11 は接触面積拘束工具と通工具を用いて、低炭素鋼（0.14%C）をすくい角0度の超硬工具で乾燥二次元長手旋削を行ない得られた切屑を送り量および拘束長さに対して示したものである。この場合の切削速度は90mpmである。同図に見られる如く、拘束長さが小なる場合には送り量にかかわらず切屑はカールすることなく直線的であるか、ゆるやかな曲りを有する形状のものとなり、拘束長さが大きくなるにしたがって切屑カールの径、ピッチが不規則な形から、径、ピッチの整ったらせん状となり、切屑半径も小さくなって分断されるようになる。切削における切屑カールの問題については奥島・人見⁶、中山⁷によって詳細に観察されているが、理論的には接触面積拘束長さが縮少される場合、既に発表⁸した如く第Ⅰ領域（ η 領域）の角 η は減少し、第Ⅱ領域（扇形領域）の角 θ が増大し、先に示した格子線変形模型から知れるように第Ⅰ、第Ⅱ領域内の質点移動速度が切屑の主たる流れ方向を示す第Ⅲ領域内での質点移動速度より遅くなるため切屑は直線的に排出されるものと思われる。然し実際には図-11に見られるようにカールが強い。このことは切削速度、構成刃先などの影響によるものではないかと思われる。

送り量0.3mmprの場合二次切屑の流出は拘束長さ0.25mm、0.5mmで綺麗に排出され、拘束長さが大きくなるにしたがって拘束の有効性が失われてゆくため切屑カール半径小となり分断された切屑となる。送り量0.175mmprでは拘束長さが小なる処で僅かに二次切屑が見られる。

排出される切屑の色は、拘束長さが小で、二次切屑の流出が見られる場合に銀白色を呈している。拘束長さが増大するにしたがって金茶色になり、通常工具になるにおよんで完全にテンパーカラーに変わる。このことは切削抵抗の増大とあいまって、すくい面における切削温度分布の効果が明らかに意味を持つことになる。実用の点からみた場合には通常高すくい角工具と比

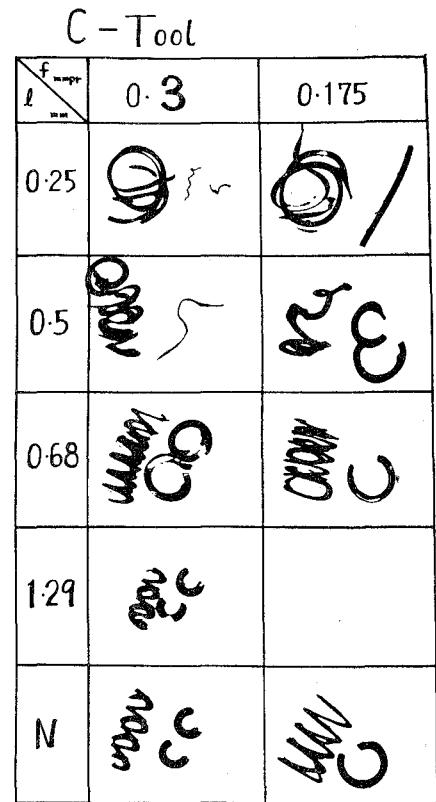


Fig.11 Photographs of chip produced for C-tools of various tool-chip contact length, Cutting conaitons are the same as in Fig. 9,

較して接触面積拘束工具の方が切屑処理の問題を解決すれば有利である。

V SWC型拘束工具による切削抵抗

接触面積拘束工具の第1すくい角 $\alpha_1 = 0$ 度, 第2すくい角 $\alpha_2 = -15$ 度とした拘束工具を SWC-1型, 第1すくい角 $\alpha_1 = 30$ 度, 第2すくい角 $\alpha_2 = -30$ 度とした所謂SWC標準型⁹をSWC-2型とする。これら二種類の工具において接触面積を順次拘束して低炭素鋼 (0.14%C) を乾燥二次元長手旋削した時の切削抵抗を測定し, その切屑形態を観察した。

SWC-1型とSWC-2型の基本的相違は第1すくい面での拘束接触長さが僅かで, 第2すくい面での拘束接触長さが自然接触長さに近く, 充分大きい場合には通常工具の切削となる。拘束接触長さの変化によって新たな受圧面を第1すくい面に持つと言うことである。そのため第1第2すくい面での拘束長さが適当な長さであるならばSWC標準型の切削となる。

1 実験結果および考察

切削条件は被削材, 低炭素鋼 (0.14%C), 工具は超硬ST-2 [0, -15(SWC-1) or -30(SWC-2), 5, 5, 10, 0, 0, 3], 送り 0.3mmpr, 切込み 2mmである。図-12にその結果を示した。同図に見られるように SWC-1 型工具では低速および高速域でも拘束長さの変化に対して, 切削抵抗の変化はあまり見られない。SWC 標準型に特有な二次切屑も, 拘束長さ変化, 切削速度変化に対して見られない。また通常工具において見られる構成刃先の生成消失に特有な切削抵抗の極

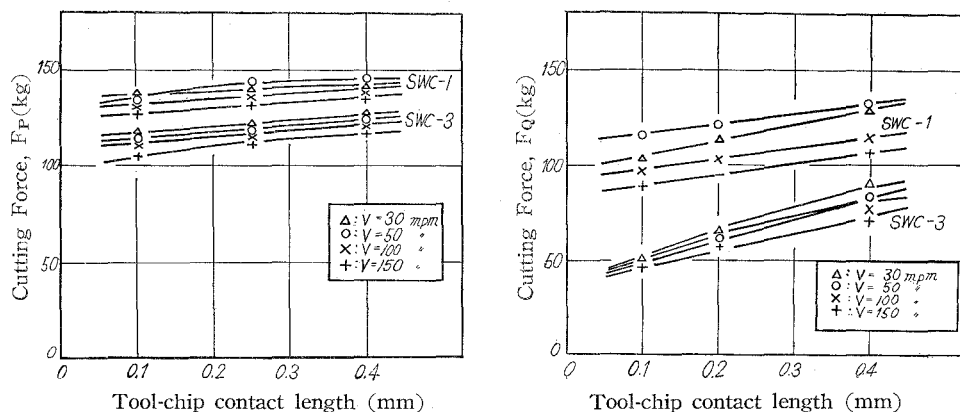


Fig.12 Variation of cutting forces with tool-chip contact length. Cutting conditions: material cut, 0.25% carbon steel., tool, ST-2 carbide [0, var., 5, 5, 10, 0, 0, 3]; depth of cut, 2mm; feed, 0.3mmpr; cutting speed, var.; cutting fluid, dry.

大, 極小も示さない。このことは低速域において接触面積拘束長さに応じた小型の極めて安定した構成刃先を生じているためと思われる。また拘束長さが小なる場合にはすくい角 0 度の通常工具に近ずき, 拘束長さが大きい場合には, すくい角 -15 度の通常工具に近づくことになる。














このため SWC-1 型に生ずる塑性域は第 1 すくい角が 0 度であるため、切屑は第 1 すくい面で新たな接触面積を持つことになる。主応力面は拘束接触長さの上端を通過する面とはなり得ず、第 1 すくい面上に主応力面が来ることになる。それ故第 1 すくい面と第 2 すくい面とに複雑な塑性域が生ずることになる。

SWC-1 型工具においては切削抵抗の変動がなく、二次切屑の流出が見られないのは上述のような塑性域を生じているため、第 2 すくい面での扇形領域が小さく第 1 領域の η が大となり、第 1 すくい面で生じた塑性域に拘束されるため、二次切屑の流出が見られずその部分が固定した構成刃先となって留まっているためであると思われる。

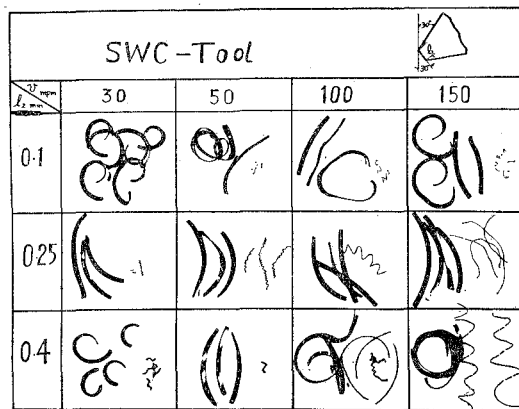
SWC-2 型工具における切削抵抗は接触面積拘束長さを順次大きくしても変化はこの実験における速度範囲では著しくない。SWC 標準型工具に特有の二次切削流出は、切削速度 30mpm で拘束長さ 0.1mm の場合を除いて全条件で見られる。切削速度が低い場合で拘束長さが小なる場合には縮小された形のものであるが切削速度が高く、かつ拘束長さが大となると流れるような綺麗な二次切屑となる。(図-13 (b) を参照)。このことは高速になるに従って切屑内塑性域の温度が高くなるためであろう。切削速度 30mpm で拘束長さ 0.1mm の場合には SWC-1 型の時に生ずる塑性域と同じになるため二次切屑が流出しないのであろう。この条件以外の場合には第 1 すくい面で接触面積を持ち得ないため第 1 領域が非常に小さくなって扇形域が大きくなるため、また高速になるに従ってすくい面前方の温度の影響によって滑かな二次切屑の排出が見られるものと思われる。

2 切屑形態

図-13 [A], [B] に SWC-1 型, SWC-2 型拘束工具による各切削速度に対する、拘束長さ増大の場合に対する切屑形態を示した。

SWC-Tool 				
$\frac{V}{f_z}$	30	50	100	150
0.1				
0.25				
0.4				

[A]



〔B〕

Fig.13 Photographs of chip produced for SWC-Tools of various tool-chip contact length. Cutting conditions are the same as in Fig. 12.

SWC-1型工具の場合には全条件で二次切屑の流出が見られず、いずれも分断された切屑となる。構成刃先は切削速度30 mpmの場合、拘束長さ0.1~0.4 mmのいずれの場合に対しても切屑裏面全面にわたって存在している。切削速度50mpm以上では完全に消失している。

SWC-2型工具の場合は前述の如く、切削速度30mpmで拘束長さ0.1mmの時を除いて、全条件で二次切屑の流出が見られる。切削速度大なる程二次切屑は長くなり、主切屑は速度の増大と共に直線的になる。また切屑の色はいずれも典型的な銀白色を呈している。

VI 二段すくい角拘束工具による切削抵抗

二段すくい角拘束工具とは接触面積拘束工具および SWC-1 型工具において、工具・切屑接触面積を拘束した面を同時に二カ所で持つ工具である。すなわち接触面積拘束工具でのすくい面と SWC-1 型工具でのすくい面とを複合した拘束面を同時に二つ持った工具で、通常概念から言えば三つのすくい面を持った工具と言うことになる。この工具を今後M-工具と称することにする。

1 二段すくい角拘束工具の切屑塑性域

M-工具の切屑内塑性域としては、工具形状の点から二段すくい角となっているので接触面積拘束長さの変化によって生ずる塑性域はかなり複雑なものと考えられるが予想される切り線場は図-14に示した如くなると思われる。

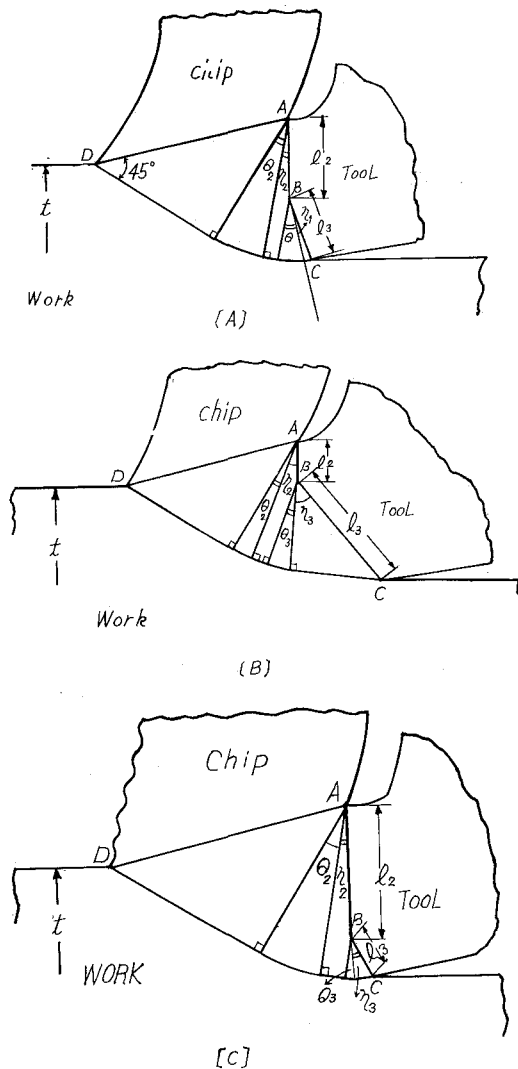


Fig.14 Slip-line field in machining with M-tool

同図において〔A〕はすくい面 AB および BC における接触面積拘束長さ l_2 , l_3 が適当な値である場合には扇形角 θ_2 , θ_3 が共に大きくなり二次切屑として流出するようになり SWC 型工具と同じようになる。〔B〕はすくい面 BC における拘束長さ l_3 が充分大きく、すでに自然接触長さに近い大きさの場合で、すくい面 AB における拘束長さ l_2 をいくら拘束しても両方の扇形角 θ_2 , θ_3 が大きくならない場合である。この場合には扇形領域内の変形歪は小であるため二次切屑は生ずることなく通常工具での切削に近い状態になるものと思われる。〔C〕はすくい面 AB での拘束長さ l_2 が充分大きく自然接触長さに近かく充分大きい場合で l_3 が非常に小さい場合である。この場合にも恐らく扇形領域は分離することなく、すくい面に沿って流

れるものと思われる。そして全体として通常工具での切削に近い状態になるものと思われる。ただしこの場合すくい面 BC においてこのすくい角が非常に負に大きくなった場合には著しい過切削の状態になり、正常な切削は不可能となるであろう。

図-15 は M 工具により一辺 0.1mm の正方形格子を刻線した銅板を切込み 0.4 mm, すくい面接触拘束長さをそれぞれ 0.2 mm, 第 2 すくい角 20 度, 第 3 すくい角 -20 度において四塩化炭素を用いて低速切削した場合の格子線変形模様である。同図の格子線変形が上述の 図-14 (A) に示した切屑内塑性域に酷似していることが明らかである。

2. 二段すくい角拘束工具の切削抵抗

二段すくい角拘束工具において生ずる塑性域構造についての考察を行なったので、次にこのような工具形状を持った工具を用い、種々な切削速度のもとで乾燥二次元長手旋削を行ない切削抵抗 (F_P), (F_Q) を測定した。被削材は低炭素鋼 (0.25 %C), 工具は超硬 S-1 [0, -15, 5, 5, 10, 0, 0.3], 切込み 2 mm, 送り 0.3 mmpr で接触面積拘束長さ l_1 は第 2 すくい面における $l_2 = 0.2$ mm, 0.6 mm 一定として第 3 すくい面における拘束長さ l_3 を変化した。

図-16 にその結果を示す。同図において $l_2 = 0.2$ mm の工具を M-A 工具, $l_2 = 0.6$ mm を M-B 工具とする。同図から明らかな如く一般的に言って切削抵抗は第 3 すくい面における拘束長さ l_3 を順次大きくするにしたがってほぼ直線的に増加し, SWC 型拘束工具に比較して切削抵抗増加の割合 が大きい。また M-A 工具の切削抵抗は M-B 工具に比較して小である。

接触面積拘束長さ l_2 と l_3 の割合が等しいか、僅かの差である場合には η 領域が小となり θ 領域が大となる。このために θ 領域での変形歪が大きくなり SWC 型工具による切削に近い状態になる。事実この場合には各切削速度領域で二次切屑の流出が見られた。処が $l_2 > l_3$ では第 2 すくい面での受圧面積が第 3 すくい面に比較して非常に大きくなるため 図-14 の [C] に示した如き塑性域構造となり θ 領域が小で, η 領域が大となるため変形歪も小となる。それ故通常工具に近い切削となる。このために他の拘束工具に比較して切削抵抗も大きくなり,

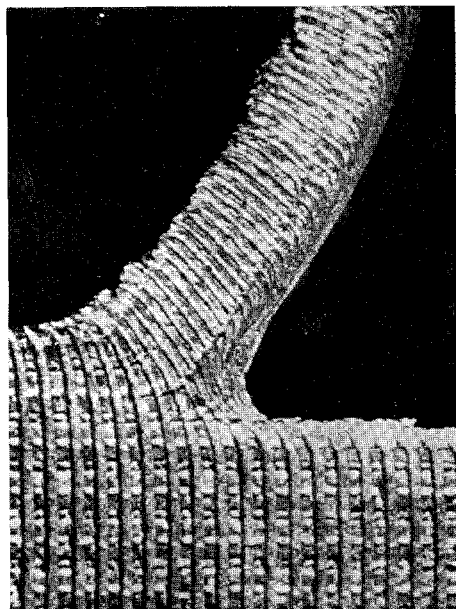


Fig.15 Experimental pattern of distorted grids.

Cutting conditions: Material cut, copper; tool, HSS [0, [20, 20], 5, 0, 0, 0, 0]; contact length, $l_2 = l_3 = 0.2$ mm; depth of cut, 0.4 mm; grid spacing, 0.1 mm; cutting speed, 198 mmpr; cutting fluid, CCL₄.

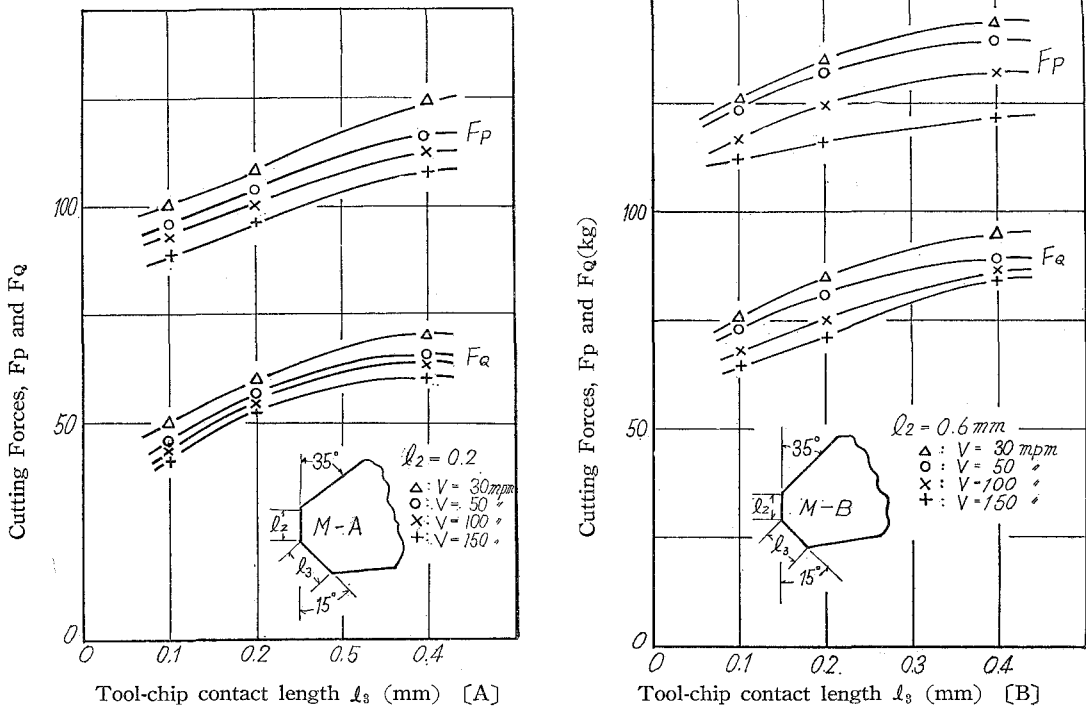


Fig.16 Effect of tool-chip contact length l_3 on cutting forces.

Cutting conditions: material cut, 0.14% carbon steel; tool, S-1 carbide, Mtype [0, (0, -15), 5, 5, 10, 0, 0.5]; contact length, $l_2 = 0.2$ mm [A], $l_2 = 0.6$ mm [B]; depth of cut, 2 mm; feed, 0.3 mm/pr; cutting speed, var; cutting fluid, dry.

二次切屑の流出も見られない。

図-17に第3すくい面の接触面積拘束長さ l_3 をそれぞれ0.4mm, 0.1mmと一定にし, 第2すくい面の拘束長さ l_2 を順次変化させた時の切削抵抗(F_p)(F_q)の変化を示した。

同図において[A]は第2すくい面の拘束長さ l_2 を0~1.0mmまで増大させることによって各種の接触面積拘束工具を得ることが出来るのでその対応する接触長さの位置に各種拘束工具を図示した。同様に[B]図においても拘束長さ $l_2 = 0.2 \sim 1.0$ mmまで増大した場合について示した。同図から明らかな如く $l_2 = 0$ の場合には第1すくい角35度, 第2すくい角-15度となるため接触面積拘束工具 $\alpha = -15$ 度およびSWC型工具に相当するものであり, $l_2 = 0.2$ mm, 0.4 mmおよび0.6 mmは二段すくい角工具のM-AおよびM-B工具に相当し, $l_2 = 0.9$ mmは第1すくい角0度, 第2すくい角-15°のSWC-1型工具に相当する。[B]においても拘束長さを増大させるに従って, 工具形状は変化し, 最大接触長さで[A]図と同様SWC-1型工具となる。切削抵抗も当然拘束長さ増大にともない上記のように工具形状も変化するのでほぼ直線的に増大してゆき, 切削速度により変化はあまりないことが知れる。[A], [B]両図からわかるようにM工具の特性として第3すくい面の拘束長さを一定とし, 第2すくい面の拘束長さを減少す

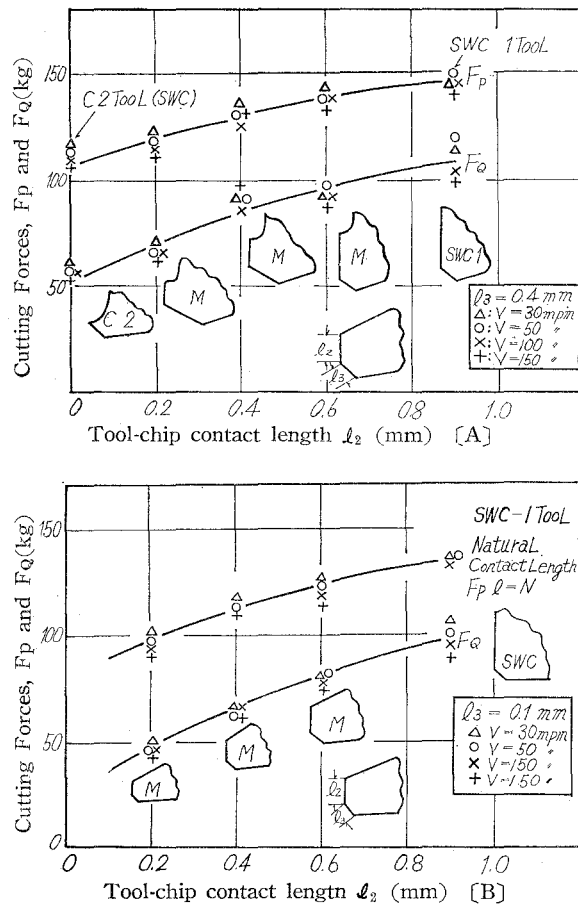
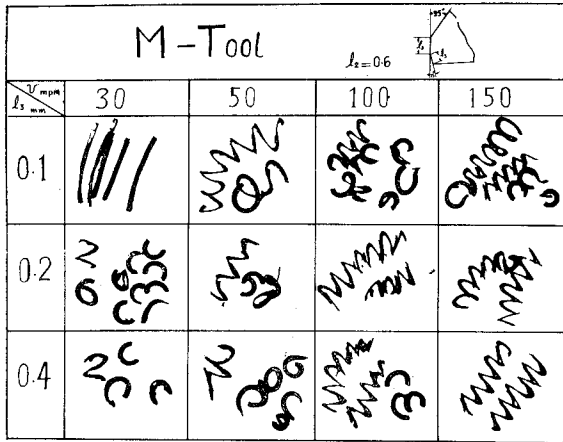


Fig.17 Effect of tool-chip contact length l_2 on cutting forces. Cutting conditions are the same as in Fig. 16 expect contact length l_3 are 0.4 and 0.1mm

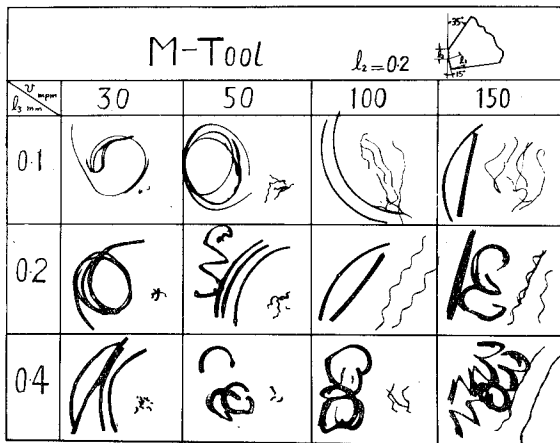
る方向では接触面積拘束工具となり切削抵抗も減少し、拘束長さを増大する方向では SWC-1 型工具となって切削抵抗も増大する。

3 切屑形態

図-18は第3すくい面の拘束長さ l_3 をそれぞれ0.2mm、0.6mmと一定にし、第2すくい面の拘束長さ l_2 を順次拘束した時の切屑形態を切削速度に対して示したものである。この両図から明らかな如く、まったく異なった切屑形態を示している。 $l_2=0.2\text{mm}$ の場合はM工具の塑性域が[A]の場合に相当するものであることがわかる。切削抵抗の低い場合には二次切屑の流出は滑らかでなく短いぼろぼろとしたものとなるが、切削速度が高くなると滑らかな長い二次切屑を流出する。また切屑の色は全体として銀白色である。切削速度 30mpm では切屑裏面に明瞭な構成刃先の残留をみる。50mpmでは僅かに残留構成刃先の跡がみられる。特に $l_2=0.1\text{mm}$ において構成刃先は消失寸前たることがわかる。一般に接触面積拘束長さが縮少される程



[A]



[B]

Fig.18 Photographs of chips produced for M-tools of various tool-chip contact length. Cutting conditions are the same as in Fig. 16.

pmでは僅かに側面で二次切屑流出の傾向が見られる。切削速度30mpmで安定した構成刃先の生成がみられる。

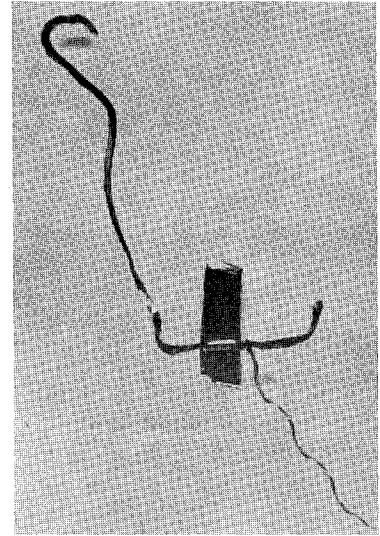


Fig.19 Photographs of chip produced by machining with M-Tool. Cutting conditions are the same as in Fig. 16.-[B].

二次切屑の体積は小となる。そして流出する二次切屑は断面がほぼ三角形をしており $l_2 = l_3$ で切削速度の高い場合には 図-19 に示すような状態で二次切屑が流出する。

$l_2 = 0.6\text{mm}$ の場合には塑性域構造が [B] の場合に相当するもので拘束長さを順次増大しても二次切削の流出が見られない。然し切削速度50m

VII 結 言

各種接触面積拘束工具についての切削現象を理論的並びに実験的に解明して次の結果を得た。

1) . 接触面積拘束長さが自然接触長さになり、すくい面での温度分布を考えない場合には常に第1領域の η は0であり、すくい面摩擦状態は著しく Severe であって低速では安定に削れないか構成刃先を生じてしまう。高速で安定に切削出来るのは、すくい面で高温であるため

自然接触長さにおいて、第2領域内での降伏応力が低下して流動状態にあるため安定に切削出来るのであろうと思われる。

2) . 接触面積拘束工具の切削抵抗は拘束長さ、第1領域および第2領域の η , θ で現わされる簡単な式で示した。

3) . 各種接触面積拘束工具の切削抵抗は、M工具を中心として拘束長さ縮少の場合には接触面積拘束工具(C-工具)となり、大きい場合にはSWC-型工具となって切削抵抗も増大する。構成刃先は通常工具のそれに比して極めて安定した小型のものとなる。

4) . 各種接触面積拘束工具の切削抵抗は通常高すくい角工具に比較していずれも安定した低い値をしており、切削速度の変化に対しても通常工具にみられるような変化がなく安定している。動力消費の面においても低くなる。

5) . SWC型切削工具が切削抵抗に関して有用なるためには、拘束長さが充分小であり、且つ第1すくい面が切屑と殆んど接触しないことが必要である。又二段すくい角拘束工具では第2、第3すくい面接触長さが充分小で且両すくい面接触長さの差が小なることが有効条件となる。

6) . 二段すくい角拘束工具において生ずる塑性域は二つの扇形領域を持ったかなり複雑なもので、拘束長さ変化の条件に対して三つの塑性域モデルを提案したが実験結果からかなりの一致をみるようである。

7) . 実用性の面からみた各種拘束工具の切削性は通常高すくい角工具に比較して有利である。C-工具、M-A工具、SWC-I型工具の順となる。

終りにのぞみ本研究の実施に当り終始御懇篤な御指導、御助言を賜った北大工学部精密工学科星光一教授ならびに臼井英治助教授に厚く御礼申し上げます。また本実験実施にあたり終始熱心に助力された牧野フライス製作所菅田稔、大隈鉄工株式会社森弘肆両氏および北大精密工学科加工研究室の方々に対して深く感謝の意を表します。

本研究は昭和37年度文部省科学研究費の一部によって行なわれたものであることを附記する。

(昭和38年4月30日受理)

文 献

- 1 H. Takeyama and E. Usui, "The Effect of Contact Area in Metal Machining," TRANS. ASME, Vol. 80, 1958, P. 1089.
- 2 B. T. Chao and K. J. Trigger, "Controlled Contact Cutting Tools," TRANS. ASME, Series B, JOURNAL OF ENGINEERING FOR INDUSTRY, Vol. 81, 1959, P. 139
- 3 E. Usui and M. C. Shaw, "Free Machining Steel-Tools with Reduced Contact Length-," TRANS. ASME, Series B, JOURNAL OF ENGINEERING FOR INDUSTRY, Vol. 84, 1962, P. 89
- 4 E. Usui, K. Kikuchi and K. Hoshi, "The Theory of Plasticity Applied to Machining with Cut-

Away Tools," presented to Production Engineering Conference of ASME, Cincinnati, Ohio
May 7-9, 1963 (Paper No. 63-Prod-5)

- 5 E. H. Lee and B. W. Shaffer, "The Theory of Plasticity Applied to a Problem of Machining,"
Journal of Applied Mechanics, Vol. 18, TRANS. ASME, Vol. 73, 1951, P. 405.
- 6 奥島・人見: 二次元切削における切くずの彎曲現象, 精密機械, Vol. 25, No. 7. 1959, p. 320.
- 7 中山・上野・田村: 切くずの彎曲について, 精密機械, Vol. 27. No. 10. 1961, p. 681.
- 8 臼井・菊地・星: 特殊塑性域を含む切削機構の研究 (第1報), 精機学会 昭和37年度 春季大会学術講演会
前刷 p. 35
- 菊地・臼井・星: 同上 (第2報) 同上 p. 37
- 9 星 光 一: 金属切削—構成刃先について—, 工業調査会, 1960, p. 109